

REDUCCIÓN DEL IMPACTO DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS A TRAVÉS DE UNA PLATAFORMA DE ECONOMÍA COLABORATIVA

Roberto Alvaro-Hermana, Estudiante de doctorado, Universidad Politécnica de Madrid

Julia Merino, Investigadora, TECNALIA

José Jesús Fraile-Ardanuy, Profesor Titular, Universidad Politécnica de Madrid

Sandra Castaño, Profesor Ayudante Doctor, Universidad Politécnica de Madrid

Resumen: En este trabajo se presenta una nueva forma de reducir el impacto de la recarga de vehículos eléctricos (VE), basado en aplicaciones de economía colaborativa. La propuesta consiste en que VEs con excedente de energía almacenada en sus baterías puedan vender energía a aquellos VEs que requieran recargar sus baterías durante el día y que estén aparcados en la misma zona y a la misma hora. A través del mercado propuesto, es posible reducir significativamente el coste de la recarga a aquellos usuarios que necesitan recargar fuera del horario nocturno (hasta un 70% dependiendo de la situación) y reducir también el impacto de la recarga sobre la red, puesto que dicha recarga se realiza intercambiando la energía entre vehículos aparcados en la misma zona, sin necesidad de estar conectados a la red eléctrica.

Palabras clave: Vehículos eléctricos, optimización, recarga, economía colaborativa, *peer to peer*.

INTRODUCCIÓN

Más del 70% de la población europea habita en núcleos urbanos y está expuesta a niveles de contaminación por encima de los límites de seguridad recomendados por la Organización Mundial de Salud (EEA, 2014).

Por esta razón, en los últimos años los gobiernos están promoviendo la electrificación del transporte a través de distintas iniciativas, dando lugar ya a resultados tangibles (EC, 2015). En 2015 la matriculación de vehículos eléctricos (VEs) en Europa creció casi un 50% con respecto al año anterior, y la tendencia de crecimiento positivo se mantiene durante el primer trimestre de 2016. La cuota de penetración no es homogénea en todos los países europeos, pasando desde el 23% de Noruega a menos del 0.5% en España o Italia (EAMA, 2015).

A pesar de las ventajas inherentes al despliegue de los VEs en el ámbito urbano tales como la reducción de: emisiones de CO₂, contaminación acústica, y calor generado por los motores de combustión en la ciudad, una implantación masiva de este tipo de vehículos puede impactar de forma significativa en la red eléctrica.

A nivel de generación y de red de transporte, si la recarga se realiza sin control cuando los VEs llegan a su domicilio, coincidiendo con los periodos de mayor consumo, la relación punta-valle de la demanda aumentará significativamente, siendo necesario reforzar las infraestructuras para soportar dicho incremento y aumentando las emisiones de CO₂ por tener que poner en marcha las centrales de punta más contaminantes. A nivel de red de distribución aparecen una serie de problemas comunes asociados a la recarga no controlada tales como el aumento de las caídas de tensión en las líneas, el incremento de las pérdidas, la sobrecarga de los transformadores de distribución y de los propios cables, la generación de armónicos (afectando a la calidad de suministro) o la aparición de desequilibrios en la red.

La solución clásica propuesta para mitigar estos efectos ha sido favorecer la recarga en periodos valle a través de tarifas específicas (tarifas nocturnas o tarifas para VE), permitiendo un aplanamiento de la curva de la demanda, reduciendo la necesidad de refuerzo de la red y favoreciendo una mayor integración de la energía renovable, particularmente la eólica. A nivel de red de distribución, la solución consiste en realizar una recarga coordinada a través de un agregador que determina en qué momentos se debe producir la recarga de estos vehículos, minimizando el impacto total sobre la red.

En esta comunicación se presenta una nueva forma de solventar este problema basado en aplicaciones de economía colaborativa donde la interacción de dos o más sujetos para satisfacer la necesidad de recargar su VE a través de una plataforma digital (*peer-to-peer*) permite monetizar un recurso infrautilizado, que en este caso es la energía excedente en las baterías. La solución propuesta consiste en que VEs con excedente de energía almacenada en sus baterías puedan vender energía a aquellos otros que requieran recargar sus baterías durante el día y que estén aparcados en la misma zona y a la misma hora (Figura 1). A través del mecanismo de mercado propuesto, es posible reducir significativamente el coste de la recarga para aquellos usuarios que necesitan recargar fuera del horario nocturno y reducir también el impacto global de la recarga sobre la red eléctrica, puesto que dicha recarga se realiza intercambiando la energía entre vehículos aparcados en la misma zona, sin necesidad de estar conectados a la red eléctrica.

Para la validación de esta solución propuesta se ha utilizado un modelo de movilidad a nivel nacional basada en agentes, desarrollado dentro del proyecto europeo *DATA science for SIMulating the era of electric Vehicles* (DATASIM, 2011). A partir de este modelo se ha evaluado el número de kilómetros recorridos, el consumo asociado (medido en kWh/km) y las actividades realizadas por esta población cada día, estudiando el porcentaje de usuarios que podrían utilizar el VE en sus desplazamientos diarios sin modificar sus patrones de movilidad. Así se han identificado dos tipos de comportamientos de posibles usuarios de VE:

- Usuarios que recorren diariamente una distancia inferior a la autonomía real de un VE, llegando al final del día con un excedente de energía almacenada en sus baterías (conjunto A).
- Usuarios que pueden cambiar su vehículo convencional por un VE y que, pese a recorrer distancias superiores a la autonomía diaria de este tipo de vehículos, realizan paradas a lo largo del día lo suficientemente largas como para ser aprovechadas para recargar, de forma que no vean modificados sus patrones de movilidad actuales (conjunto B).

Se asume que todos los usuarios recargan sus VEs en sus viviendas en horario nocturno, cuando el precio de la energía eléctrica es el más bajo y que los usuarios del conjunto B tendrán que realizar la recarga durante el día para poder finalizar sus viajes diarios. Para ello, para cada uno de los conductores del conjunto B, un sistema de optimización individual se encarga de determinar cuándo (y dónde) deben realizar dicha recarga, teniendo en cuenta el precio de la energía eléctrica en periodo diurno y el tiempo que necesitan para recargar.

Finalmente, un agregador recoge toda esta información y, analizando también el estado de todos los VEs del conjunto A, se determina el precio óptimo de venta de energía entre vehículos en cada zona y en cada hora, obteniéndose una situación beneficiosa para ambos conjuntos de usuarios y para la sociedad.



Figura 1. Esquema del sistema peer to peer para compartir energía entre VE.

MODELO DE MOVILIDAD

Dentro del proyecto europeo DATASIM se ha desarrollado una herramienta que permite conocer los patrones de movilidad en la región belga de Flandes. Este modelo, conocido como *Modelo de movilidad basado en agentes*, genera una población sintética cuyo comportamiento es estadísticamente idéntico al de la región analizada. Los datos requeridos para desarrollar este modelo son: a) Propiedades de cada zona: número y clases de habitantes, escuelas, tiendas, puestos de trabajo, etc. b) Datos de desplazamientos entre zonas por cada tipo posible de transporte (coche, tren, autobús, etc.): tiempos, capacidad de la ruta, número de desplazamientos previstos, etc. c) Encuestas de movilidad personales.

Las encuestas de movilidad se emplean para configurar los árboles de decisión que determinan el comportamiento de cada agente. En el caso presentado, la última campaña corresponde al periodo 2008-2013 y ha requerido de 8000 encuestas de movilidad (Bellemans et al., 2010).

El programa divide la región analizada en diferentes áreas de un tamaño máximo de 5 km². Esto constituye un total de 2368 zonas de movilidad con 10.000 bloques de edificios y 5,9 millones de agentes, de los cuales 1,1 millones conducen un automóvil a diario.

Cada uno de los miembros de la población tiene una agenda diaria propia. En la parte superior de la Figura 2 se muestran las distintas zonas de movilidad de Flandes y en la parte inferior se presenta el caso de la agenda de un individuo particular de la población, representada mediante una línea temporal que indica la actividad que realiza a lo largo del día, la localización y los periodos de tiempo en los que realiza cada una de las actividades. En este caso el agente permanece en casa (zona A) hasta las 8:20 de la mañana y se desplaza al trabajo (zona B) permaneciendo allí hasta las 17:00, realizando posteriormente distintas actividades hasta regresar a su domicilio a las 21:30.

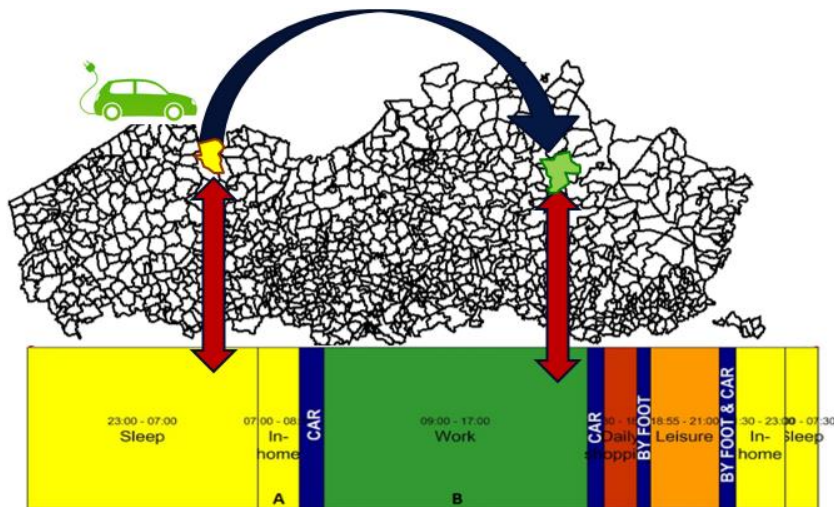


Figura 2. Agenda diaria de un conductor y desplazamientos asociados.

RECARGA INTRADIARIA

Para facilitar los cálculos, en este estudio se ha supuesto un VE con una capacidad efectiva de batería de 20 kWh. Bajo estas condiciones, el 81% de los conductores de esta región podrían completar sus actividades diarias con una única carga de la batería, mientras que el 11% requeriría poder cargar la batería mientras realizan sus actividades (recarga intradiaria) y sólo para el 8% el VE no cumple sus expectativas diarias de movilidad. En la Figura 3 se muestran los histogramas de la cantidad de energía excedente en las baterías de los VE del conjunto A al final del día (izquierda) y el déficit energético (la energía demandada) por los VE del conjunto B para poder finalizar sus trayectos diarios (derecha). Puede verse que la energía excedente es un orden superior a la energía demandada (unas 36 veces mayor).

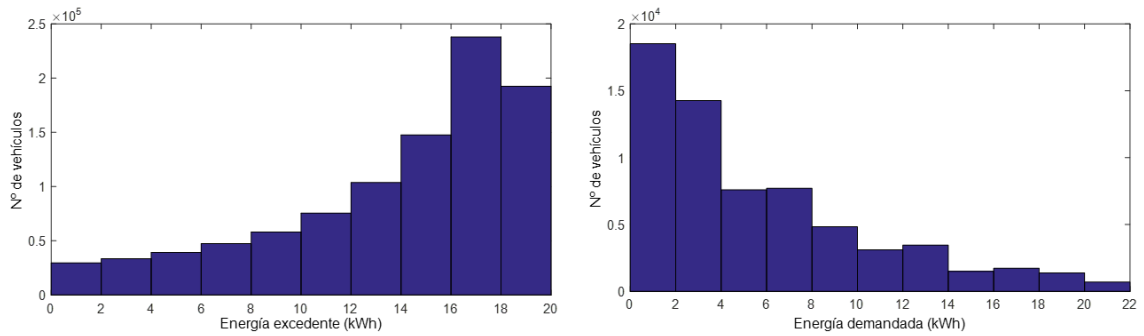


Figura 3. Izquierda: distribución de la energía en vehículos con excedente. Derecha: distribución de la energía en vehículos deficitarios.

Cada uno de los conductores del conjunto B deberá evaluar cuándo (y dónde) deben realizar su recarga intradiaria, teniendo en cuenta el precio de la energía eléctrica en el periodo diurno, el tiempo requerido para recargar y sus restricciones de movilidad. Para ello se ha desarrollado un algoritmo de optimización que se ejecuta para cada miembro de este conjunto y determina las franjas de tiempo en las que tiene que recargar su VE para minimizar el coste de la energía (Alvaro et al., 2014).

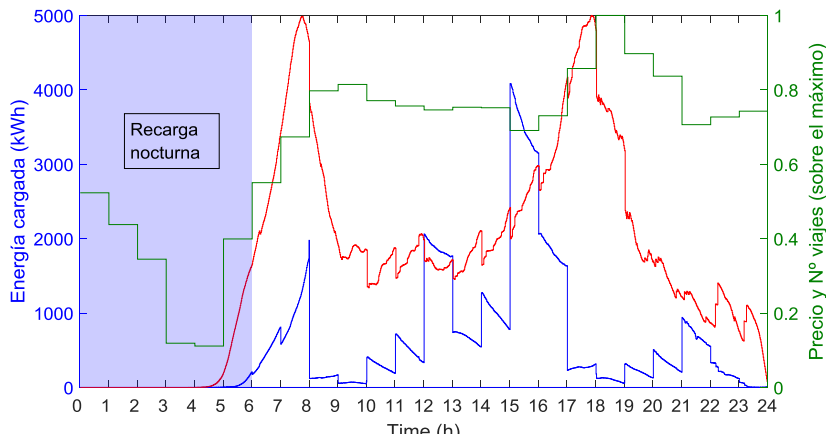


Figura 4. Energía cargada frente al número de desplazamientos y precio de la red.

En la Figura 4 se muestra la demanda eléctrica agregada asociada a la recarga intradiaria de todos los vehículos del conjunto B, donde se observa la dependencia existente entre los desplazamientos, el precio de la energía de la red y la cantidad de energía recargada. El primer pico en la energía recargada (en azul) aparece en el periodo 7:00-8:00 y corresponde a los usuarios que ponen a cargar sus VE al llegar al trabajo, porque el precio de la energía (en verde) es todavía bajo. El siguiente pico significativo en el consumo aparece en el primer mínimo local del precio de la energía (12:00-13:00) y el mayor pico de consumo se produce en el periodo de 15:00-16:00, cuando el precio de la energía es el más bajo del periodo diario y los vehículos se disponen a realizar el último trayecto de vuelta a casa. En la franja 21:00-22:00 se produce otro mínimo local en el precio y se genera un pequeño repunte en el consumo (menor que los otros máximos observados), ya que apenas hay vehículos que recarguen energía al haber casi todos ellos llegado ya a su último destino. Adicionalmente y gracias al modelo de movilidad, se conoce no sólo la distribución temporal de la demanda sino también su distribución geoespacial en cada zona.

PLATAFORMA P2P DE INTERCAMBIO DE ENERGÍA

Existe una correlación directa entre el precio de la energía eléctrica y la demanda, siendo el precio mayor en momentos en los que se produce un mayor consumo. Para evitar el impacto de la recarga masiva de VEs durante el periodo intradiario, tanto sobre la red eléctrica como sobre el precio de la

energía, en este trabajo se presenta una plataforma de economía colaborativa para el intercambio de energía entre VEs, que tiene en cuenta que la mayor parte de los vehículos presentan un excedente de energía, mientras que sólo un porcentaje relativamente bajo de VEs requiere de, al menos, una recarga intradiaria para completar sus actividades. Muchos de los VEs del primer conjunto (conjunto A) estarán estacionados en la misma zona y durante el mismo periodo de tiempo que los otros vehículos, del conjunto B, que demanden energía (ver Figura 1). En lugar de comprar la energía directamente a la red durante las horas punta, estos VE pueden intercambiar energía entre ellos a un precio mucho menor, bien a través de una conexión física mediante un cargador convencional que conecte ambos vehículos o bien a través de cargadores inalámbricos instalados en los propios VEs, como los mostrados en el vehículo de Toyota FCV Plus Concept, que permiten realizar la transferencia de energía sin cables.

El núcleo de esta plataforma propuesta es un sistema de asignación de precios de la energía intercambiada, cuyo desarrollo matemático está presentado en (Alvaro-Hermana et al. 2016), y que hará variar los precios de la energía intercambiada dependiendo del instante de tiempo y de la zona en la que estén estacionados los vehículos, minimizando el coste pagado por la energía intercambiada.

En la Figura 5 se muestran los resultados del uso de la plataforma para un vehículo demandante (izquierda) y otro ofertante (derecha). El primer vehículo tiene planificadas dos recargas, una a primera hora de la mañana y otra durante la franja de las 15:00. Aunque el precio de intercambio P2P (en rojo) en estas zonas sea reducido, es superior al precio máximo durante la noche, próximo al ofertado por los otros vehículos (debe tenerse en cuenta el aumento de costes debido a las pérdidas). Esto le supone un ahorro del 40,1% en la energía intradiaria cargada y un 13,56% en la energía cargada en todo del día.

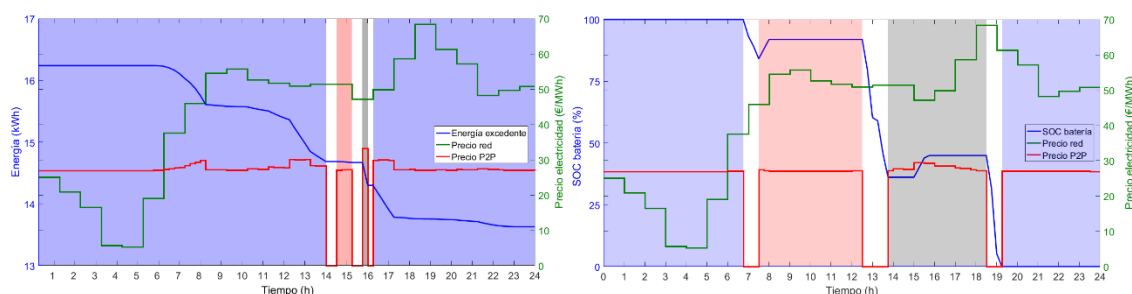


Figura 5. Efecto de la plataforma para un vehículo demandante (izquierda) y uno ofertante (derecha).

Para el vehículo ofertante de la derecha la plataforma también supone una oportunidad de reducir el coste de su consumo, en este caso de la energía cargada por la noche. El vehículo mostrado vende 2.61 kWh distribuidos fundamentalmente en cuatro periodos: uno al comenzar el día (6:00 a 8:00), otro entre 12:00 y 13:00, un tercero durante una breve estancia en la zona marcada en gris (15:30) y un cuarto justo al regresar a casa (16:00 a 17:00). Consideradas las pérdidas, el coste de la energía cargada durante la noche se reduce en un 27.6%.

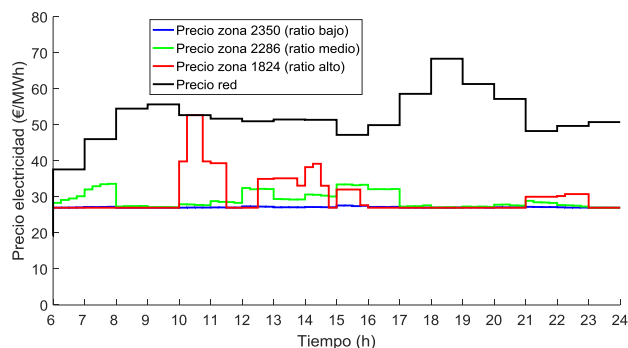


Figura 6. Precios por franja para diferentes zonas.

Observando la evolución del precio en cada zona, se aprecia que en la mayor parte de ellas, las variaciones son muy reducidas, porque la proporción de vehículos ofertantes es mayor que la de los demandantes. Un ejemplo de esto se tiene en la zona 2350 (azul) de la Figura 6, donde apenas hay variación sobre el valor mínimo considerado (27€/MWh que corresponde al precio máximo nocturno). La zona 2286 (verde) constituye un ejemplo en el que el número de vehículos de cada clase son próximos, si bien continúa habiendo una diferencia apreciable en favor de los vehículos ofertantes y finalmente, la zona 1824 (roja) constituye un caso excepcional por haber, durante ciertos periodos de tiempo, un número de vehículos ofertantes superior al de aquellos vehículos demandantes, teniéndose que comprar energía de la red eléctrica en el periodo 10:00-11:00 a un coste de 52.7 €/MWh (casi dos veces más que el coste mínimo).

CONCLUSIONES

En este artículo se ha presentado una plataforma de economía colaborativa para reducir el coste de la carga de VE y su impacto en el sistema eléctrico. De forma colateral, el uso de esta plataforma supone un desplazamiento de la energía demandada por la recarga de VE durante el día hacia la noche, contribuyendo a un mayor aplanado de la curva de demanda y a una reducción en los costes de generación.

Para su desarrollo se ha partido de un modelo de movilidad real que permite calcular qué porcentaje de VEs presentan un excedente de energía al final del día y qué porcentaje requiere de cargas intermedias para poder cumplir sus viajes diarios. A partir de esta información, se presenta un sistema de optimización que genera unos precios variables de la energía intercambiada entre unos vehículos y otros, durante el tiempo que están aparcados en la misma zona. Este intercambio de energía entre VEs supone una reducción del coste de la energía para ambas clases de vehículos, ya que los demandantes recargan energía durante el día a menor precio, mientras que los ofertantes recargan energía durante la noche a bajo precio, para revenderla a un precio mayor durante los periodos de mayor demanda del día.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se ha realizado con fondos del Proyecto Europeo *DATA science for SIMulating the era of electric vehicles*, FP7-ICT-270833.

REFERENCIAS

- Alvaro R., Gonzalez, J., Gamallo C., Fraile-Ardanuy, J., Knapen L. & Janssens D., 2014, Vehicle to vehicle energy exchange in smart grid applications, in Proc. of the Int. Conf. on Connected Vehicles and Expo (ICCVE2014), vol., no., pp.178-184.
- Alvaro-Hermana R., Fraile-Ardanuy, Zufiria, P., J., Knapen L. & Janssens D., 2016, Peer to Peer Energy Trading with Electric Vehicles, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems Magazine (accepted. To be published).
- Bellemans, T., Kochan, B., Janssens D., Wets G., Arentze T. & Timmermans H., 2010, Implementation Framework and Development Trajectory of FEATHERS Activity-Based Simulation Platform, Transport.Res. Rec.: J. Transport. Res. Board, Vol 2165, pp. 111-119.
- DATA science for SIMulating the era of electric vehicles, FP7-ICT-270833. www.datasim-fp7.eu (17 de julio de 2016)
- European Environment Agency, 2014, Air quality in Europe – 2014 report, Publications Office of the European Union, EEA Report No 5/2014.
- European Commission, 2015, Climate Action Policies. Roadmap for moving to a low-carbon economy in 2050.

European Automobile Manufacturers Association, 2015, New Alternative Fuel Vehicle Registrations in the EU.